

로짓모형을 이용한 친환경차 구매행태 분석

한진석¹ · 이장호^{2*}

¹한국환경정책·평가연구원, ²한국교통대학교 철도시설공학과

Analysis of Green Vehicle Purchasing Behavior Using Logit Model

HAHN, Jin-Seok¹ · LEE, Jang-Ho^{2*}

¹Korea Environment Institute, Sejong 30147, Korea

²Department of Railroad Facility Engineering, Korea National University of Transportation, Gyeonggi 16106, Korea

*Corresponding author: transwho@ut.ac.kr

Abstract

This study assumes a vehicle choice model based on the multinomial model and analyzes the vehicle choice behaviors of consumer. An SP survey targeting drivers was implemented and data was collected for model estimates, with the possible choice options of the survey takers limited to gasoline, HEV, PHEV, and EV vehicles. The explanatory variable mostly displayed a significance level of under 5%, and excluding variables for price and fuel the remaining variables were all consistent with the logical direction with the plus (+) sign and the results were determined to be rational. Consumers selecting mid-size & full-size vehicles are able to afford more than consumers that selected other vehicle types, so there was relatively little consideration given to low fuel costs when compared to vehicle price. For this reason, it was determined that for the full-size vehicle model the fuel variable could be disregarded. Socio-economic variables that were statistically significant were the age and infor variables for the sub-compact & compact, the age, infor and inc3 variables for the mid-sized & full-size vehicles.

Keywords: green vehicle, multinomial logit model, nested logit model, SP survey, vehicle choice model

초록

본 연구에서는 다항로짓모형 기반의 차종선택모형을 추정하여 개별 구매자의 차종선택행태를 분석하였다. 차량운전자를 대상으로 SP 설문조사를 수행하여 모형추정을 위한 자료를 수집하였으며, 설문응답자가 선택 가능한 대안은 가솔린차, HEV, PHEV, EV로 한정하였다. 모형에 포함된 설명변수는 대부분 유의수준 5% 하에서 유의한 것으로 나타났으며, price, fuel 변수를 제외한 나머지 변수는 모두 양(+)의 부호로 상식적인 방향과 일치하여 결과가 합리적인 것으로 판단된다. 중·대형을 선택하는 구매자는 타 차급을 선택하는 구매자보다 경제적 여유가 있어 차량가격 등에 비하여 상대적으로 지출금액이 낮은 연료비는 크게 고려하지 않는 경향이 강하다. 이러한 이유로 대형 차급의 모형에서는 fuel 변수가 유의하지 않은 것으로 판단되며, 사회경제변수의 경우 경·소형에서는 age, infor 변수가, 중·대형에서는 age, infor, inc3 변수가 통계적으로 유의한 것으로 나타났다.

주요어: 친환경차, 다항로짓모형, 네스티드로짓모형, SP 조사, 차량선택모형

J. Korean Soc. Transp.
Vol. 34, No.2, pp.135-145, April 2016
<http://dx.doi.org/10.7470/jkst.2016.34.2.135>

pISSN : 1229-1366
eISSN : 2234-4217

Received: 7 January 2016

Revised: 25 February 2016

Accepted: 10 March 2016

Copyright ©
Korean Society of Transportation

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

서론

1. 연구배경 및 목적

전 세계적으로 지구온난화에 대응하기 위한 노력을 기울이고 있으며, 최근에는 프랑스 파리에서 2020년 만료 예정인 기존의 교토의정서 체제를 대체하는 파리 협정(Paris Agreement)이 채택되었다. 본 협정이 발효되면 선진국 뿐 아니라 모든 국가가 전지구적인 기후변화 대응에 참여하게 된다. 국내의 경우 온실가스 배출 수준이 높아¹⁾ 국제사회에서 기후변화 대응을 위한 의무 부담이 점차 가중되고 있으며, 이에 대응하기 위하여 정부에서는 2014년에 7대 부문·25개 업종별 세부 감축목표를 제시한 로드맵²⁾을 마련한 바 있다.

해당 로드맵 중 국내 수송부문의 온실가스 감축방안은 국토교통부에서 추진하는 녹색교통정책 시행과 환경부에서 추진하는 자동차 온실가스 배출기준 강화, 저탄소차 보급 확대 등으로 구분할 수 있다. 2011년 기준 수송부문의 온실가스 배출량 중 약 95%가 도로에서 발생한다는 점(Greenhouse Gas Inventory & Research Center of Korea, 2014)을 감안하면 도로이동오염원인 자동차를 직접적으로 규제(대당 주행거리 억제, 친환경차 전환 등)하는 것이 수송부문 온실가스 감축에 기여하는 바가 클 것으로 예상되며, 국내 온실가스 감축을 위한 수송부문의 비중은 자동차 등록대수가 2030년 기준 약 2,500만대까지 증가할 것을 고려한다면 점차 높아질 것으로 예상된다(Park et al., 2012).

정부는 수송부문의 온실가스 감축을 위하여 2015년부터 일부 지자체에서 전기차 구매시 지급하는 보조금을 전국으로 확대하고, 중·소형 하이브리드차 구매시 추가 보조금을 지급하는 등 친환경차 보급 확대를 위한 노력을 강화하고 있다. 그러나 국내의 경우 아직까지 친환경차 보급(특히 전기차 등)은 초기 단계이기 때문에, 친환경차에 대한 장래 시장점유율 추정 등 관련 정책을 위한 기초연구가 필요한 실정이다. 이에 본 연구에서는 진술선호(State Preference, SP) 설문조사를 통하여 수집한 개별 차량구매자의 차종선택행태 자료를 토대로 친환경차를 고려한 개별행태모형 기반의 차종선택모형을 추정하고자 한다. 또한 추정된 모형을 바탕으로 차종별 선택에 영향을 미치는 요인을 분석하여 관련 정책 추진을 위한 기초자료를 마련하고자 한다.

2. 연구의 내용 및 방법

본 연구에서는 정부의 친환경차 보급 정책에 따른 차량 구매자의 차종선택행태를 분석하기 위하여 다항로짓모형 기반의 차종선택모형을 추정하였으며, 우도비 검정을 통하여 차급에 대한 시장분할의 유의미성을 검토하였다. 또한 카이제곱 검정을 통하여 분석자료가 로짓모형의 비관련대안간 독립성(Independence of Irrelevant Alternatives, IIA) 속성에 적합한지 여부를 검토하였으며, 이를 바탕으로 네스티드로짓모형을 이용한 차종선택모형을 추가로 추정하였다.

선택대안은 내연차량과 하이브리드차(HEV³⁾), 플러그인 하이브리드차(PHEV⁴⁾), 전기차(EV⁵)를 고려하였으며, 내연차량은 등록대수 비중이 가장 높은 가솔린차만을 고려하였다. 물론, 최근 디젤차량의 비율이 높아지고 있어서 이에 대한 고려도 필요하지만, 본 연구의 목적은 친환경차 보급정책에 따른 영향을 분석하기 위함으므로 SP설계의 특성상 대안의 수가 증가하는 경우 실험설계가 과다하게 증가하므로 이를 방지하기 위하여 디젤차량을 대안에서 제외하였다. 모형 추정을 위한 기초자료는 서울을 대상으로 수집하였으며, 설문응답자는 서울시 거주자 중 차량보유자 및 차량 구매예정자를 대상으로 하였다.

1) 국내 온실가스 배출량은 2013 기준 세계 6위 수준(Greenhouse Gas Inventory & Research Center of Korea, 2014)

2) 국가 온실가스 감축목표 달성을 위한 로드맵(2014. 1)

3) Hybrid Electric Vehicle

4) Plug-in Hybrid Electric Vehicle

5) Electric Vehicle

선행연구 검토

국내·외 개별행태모형 기반의 차종선택모형을 추정한 선행연구는 다음과 같다. Park and Kim(2007a)은 자가용 보유 가구에 대한 승용차 보유대수 및 차종선택모형과 주행거리모형을 추정하였으며, 추정한 모형을 이용하여 유가변화에 대한 정책 효과를 검토하였다. 또한 Park and Kim(2007b)은 승용차 부문의 에너지수요, 대기오염 배출 등과 관련된 정책의 효과를 예측하기 위하여 가구의 자동차 보유대수 및 차종선택에 대한 네스티드로짓모형을 추정하였다. Gwon et al.(2012)는 차종을 선택하는 이산선택행위와 선택한 차종의 운행 정도를 결정하는 연속선택행위를 결합한 이산·연속선택모형을 추정하여 자동차의 연료효율에 따라 보조금·부과금을 차등 적용하는 정책을 시행할 경우의 효과를 분석하였다.

국내의 경우 차종선택행태와 관련된 선행연구는 많지 않으며, 특히 차종선택모형을 추정함에 있어 친환경차를 선택대안으로 고려한 사례는 없는 것으로 검토되어 2015년부터 강화되는 정부의 친환경차 보급 정책의 효과 분석을 위한 기초연구가 시급한 것으로 판단된다. 반면 국외의 경우 내연차량의 차종선택행태에 대한 연구 뿐 아니라 친환경차를 고려한 연구 사례도 많은 것으로 검토되었다. 친환경차를 고려하여 차종선택행태를 분석한 대표적 유형은 다음과 같다.

Table 1. Literature review

Model	Researchers
Multinomial Logit	Calfe, J.E.(1985), Brownstone et al.(1996), Ewing and Sarigöllü(1998), Tompkins et al.(1998), Choo and Mokhtarian(2004), Horne et al.(2005), Achtnicht et al.(2012)
Nested Logit	Bunch et al.(1993), Potoglou and Kanaroglou(2007), Qian and Soopramanien(2011), Hess et al.(2012)
Mixed Logit	Brownstone et al.(2000), Hackbarth and Madlener(2013), Tanaka et al.(2014)

국외의 경우 1980년대부터 현재까지 소비자의 차종선택행태에 대한 학술적 연구가 지속적으로 이루어지고 있으며, 이에 따라 새로운 차종이 시장에 진입한 경우 각종 정책에 대한 효과 분석을 위한 기반이 마련되어 있다는 점이 국내와의 큰 차별점이라 할 수 있다. 또한 차종선택모형 추정시 선택대안의 기본적인 차량속성으로 차량가격, 연간 연료비, 연간 보유비 등을 대부분 고려하였으며, PHEV와 EV 등은 전기이용시 최대주행거리, 충전소 설치 비율 등을 추가적인 차량속성으로 고려한 사례가 많은 것으로 검토되었다.

기초자료 수집

1. SP 설문조사

1) 조사 설계

SP 조사는 연구의 목적에 따라 차종선택모형 추정을 위한 기초자료 수집을 위하여 가상의 친환경차 보급 정책 시나리오⁶⁾에 대한 차종별 선호도를 조사하였다. 선택대안은 내연차량을 대표하는 가솔린차와 현재 보급 중인 친환경차(HEV, PHEV, EV)이며, 속성변수는 선행연구를 바탕으로 차종별 차량속성을 선정하였다. 차량속성으로는 차량가격(자동차세 포함, 만원)과 예상보유기간 동안의 총 연료비(만원), 전기이용 최대주행거리(1회 충전시 최대주행거리, km)와 충전인프라 수준(서울시 가솔린 주유소 대비 충전소 비율, %)을 고려하였다.

차량가격의 경우 친환경차는 구매단계 인센티브(보조금 및 세제혜택)를 추가로 고려하였으며, 예상보유기간 동안의 총 연료비는 설문시 연평균 주행거리와 예상 차량보유기간을 조사하여 산정하였다. 또한 전기이용 최대주행거리는 전기를 이용하는 PHEV와 EV만을, 충전인프라 수준은 EV만을 추가로 고려하였다. 한편, 속성변수에 대한 수준은 차량가격의 경우 3수준으로, 전기이용 최대주행거리와 충전인프라 수준은 각각 2수준으로 설

6) 본 연구에서는 SP 조사 설계시 친환경차 중 현재 보급되지 않는 차급 포함(경/소형 HEV, 경/소형 및 대형 PHEV, 대형 EV)

정하였다.

차량가격의 경우 가솔린차는 최근 3년 동안의 내수판매대수가 가장 높은 차량의 차량가격을, 친환경차는 분석시점에서 국내 판매되는 차량들의 평균 차량가격을 기준으로 해당 차량가격의 ±1,500만원으로 수준을 설정하였다. 또한 전기이용 최대주행거리는 분석시점에서 국내 판매되는 PHEV, EV의 실제 전기이용 최대주행거리를 기준으로 해당 거리의 2배로 수준을 설정하였으며, 충전인프라 수준은 분석시점에서 서울시 일반 주유소 대비 급속충전소 비율(20%)을 기준으로 해당 비율의 4배로 수준을 설정하였다.

해당 변수들에 부여되는 수준의 정도(±1,500만원, 2배, 4배)는 차급별로 동일하게 부여하였으며, 해당 수준은 예비조사 수행 결과를 고려하여 설정하였다. 또한 본 연구에서는 조사 설계시 속성변수와 수준의 모든 경우에 대한 조합을 고려하는 완전배치요인설계 방법에 따라 차급별⁷⁾ 108개 조합을 최종적으로 선정하였다.

2) 조사 내용 및 방법

조사내용은 차종선택모형 추정을 위한 기초자료 수집에 초점을 맞추었으며, 조사표의 설문항목은 크게 차종 선택, 보유차량 특성, 향후 구매차량 특성, 응답자 일반현황으로 구성하였다. 조사는 총 758명의 설문응답자를 대상으로 하였으며, 친환경차에 대한 기초적인 속성에 대한 설명이 필요하여 면접조사 방식으로 진행하였다.

조사 수행시 설문응답자 1명 당 6개 시나리오를 제시하였으며, 시나리오에서 전술한 바와 같이 차량가격, 전기이용 최대주행거리와 충전인프라 수준은 각각 3수준과 2수준을 제시하였다. 총 연료비는 가솔린차의 경우 대표차량(최근 3년간 내수판매대수 기준)의 연비를, 친환경차는 국내에서 판매되는 차량들의 평균 연비를 바탕으로 추정하였다.

조사 장소는 서울지역 교통안전공단의 검사소(강남, 구로, 노원, 상암, 성동, 성산)와 도로교통공단의 면허시험장(강남, 도봉, 강서, 서부)을 중심으로 조사를 수행하였으며, 응답자 일반현황 중 주요 변수에 대한 조사결과는 Table 2와 같다.

Table 2. Survey result

Variable		# of Samples	%
Gender	male	531	70.1
	female	227	29.9
Age	<30	129	17.0
	30-39	296	39.1
	40-49	248	32.7
	> 50	85	11.2
House Type	apartment	465	61.3
	row house	200	26.4
	detached house	64	8.4
	officetel	29	3.8
Income	average income is less than three million won	94	12.4
	average income is between three million won and seven million won	483	63.7
	average income is more than seven million won	181	23.9

모형 추정

1. 다항로짓모형

모형은 차급에 대한 시장분할의 유의미성을 검토하기 위하여 차급을 구분하지 않은 모형과 차급을 구분한 모형(경·소형, 중·대형)을 추정하였다. 대안별 효용함수에서 대안특성상수는 가솔린차와 HEV, EV에 적용하였으며, 대안일반변수는 price 변수와 fuel 변수를, 대안특성변수는 PHEV에 distance 변수를, EV에 distance 변수와 station 변수를 고려하였다. 설명변수는 설문조사 결과를 바탕으로 Table 3과 같이 설정하였다.

7) 내연차량과 HEV, PHEV는 배기량 기준(경형: 1,000cc 미만, 소형: 1,000cc 이상, 중형: 1,600cc 이상 2,000cc 미만, 대형: 2,000cc 이상), EV는 서울시 자료(2015년도 전기차 민간보급 사업 공모) 준용

Table 3. Explanatory variables

	Variable	Definition
Generic	price fuel	Purchasing cost & Operating cost Fuel cost
Alternative specific	distance station	Maximum Driving range (Gasoline, HEV=0) Charging station (Gasoline, HEV, PHEV=0)
Socio economic	infor	Green vehicle information awareness (1 if respondent is aware of the green vehicle information, 0 otherwise)
	gender	Gender(1 if respondent is man, 0 otherwise)
	age	Age (1 if respondent is older than 50 years, 0 otherwise)
	house num	House type (1 if respondent lives in a detached house, 0 otherwise) Number of household (1 if respondent has less than one person in the household, 0 otherwise)
	inc1	Average income (1 if household's average income is less than three million won, 0 otherwise)
	inc2	Average income (1 if household's average income is between three million won and seven million won, 0 otherwise)
	inc3	Average income (1 if household's average income is more than seven million won, 0 otherwise)
	car	Existing vehicles per household (1 if respondent has more than one vehicle, 0 otherwise)

본 연구에서 사회경제변수는 설문조사의 한계로 설명구간을 상세하게 구분하지는 못하였으며, 가능한 차량 구매 특성 차이를 간략하게 살펴볼 수 있도록 구간을 설정하였다. 모형 추정결과 차종별 효용함수 형태는 Table 4와 같으며, 세부 추정결과는 Table 5-7과 같다. 또한 동일한 대안 내에서 변수간 설명력을 비교하기 위하여 추정된 변수의 계수를 Equation 1과 같이 표준화계수로 변환하였다.

Table 4. Utility functions

Choice Set	Utility Function
Gasoline	$U_G = \beta_G + \beta_1 price + \beta_2 fuel + \beta_3 age$
HEV	$U_{HEV} = \beta_{HEV} + \beta_1 price + \beta_2 fuel$
PHEV	$U_{PHEV} = \beta_1 price + \beta_2 fuel + \beta_3 distance + \beta_6 infor$
EV	$U_{EV} = \beta_{EV} + \beta_1 price + \beta_2 fuel + \beta_3 distance + \beta_4 station + \beta_6 infor + \beta_7 inc3$

$$B = B_1 \frac{S_X}{S_Y} \tag{1}$$

여기서 B : 표준화계수
 B_1 : 비표준화계수
 S_X : 설명변수 X 의 표준편차
 S_Y : 종속변수 Y 의 표준편차

모형에 포함된 설명변수는 대부분 유의수준 5% 하에서 유의하며, 차급을 구분한 경우 경·소형 모형의 설명력이 중·대형 모형 보다 다소 높게 나타났다. 모형에 포함된 설명변수 중 price, fuel 변수는 (-)의 부호로 나타났으며, 이는 차량관련 비용(차량가격, 연료비 등)이 높을수록 선호도가 떨어지는 것을 의미한다.

사회경제변수 중에서는 age, infor, inc3 변수만이 유의하게 추정되었으며, age 변수는 가솔린차의 효용에, infor 변수는 PHEV와 EV의 효용에, inc3 변수는 EV의 효용에 영향을 미치는 것으로 나타났으며, 이러한 특성은 모든 차급에서 동일하다.

한편 age, inc 변수 모두 설문조사 단계에서는 연령대별, 소득수준별로 구분하여 조사를 수행하였으나, 모형에서는 50대 이상인 경우, 월평균 소득이 700만원 이상인 경우만 유의한 것으로 나타나 친환경차 구매행태 분석에 한계가 있는 것으로 판단된다.

Table 5. Multinomial logit for total size

Variable	Coefficient	Standardized Coefficient	T-value
ASCe	Gasoline	-	-4.277***
	HEV	-	-0.575***
	EV	-	-17.673***
price	-0.0007	-2.655	-33.226***
fuel	-0.0003	-0.394	-4.369***
distance	0.0018	0.351	3.358***
station	0.0246	1.629	19.520***
age	-0.5311	-0.387	-4.011***
infor	0.2528	0.261	3.534***
inc3	0.1561	0.152	1.904**

Number of observations=4,547, $L(0)=-6303.5$, $L(c)=-6197.6$, $L(\beta)=-5412.1$, $\rho^2=0.141$, $\bar{\rho}^2=0.141$

note: ***p-value < 0.01, **p-value < 0.05.

Table 6. Multinomial logit for sub-compact

Variable	Coefficient	Standardized Coefficient	T-value
ASCe	Gasoline	-	-1.718**
	HEV	-	1.538*
	EV	-	-13.773***
price	-0.0009	-2.328	-26.111***
fuel	-0.0006	-0.714	-5.230***
distance	0.0023	0.400	2.668***
station	0.0276	1.832	15.507***
age	-0.6359	-0.352	-2.217**
infor	0.2358	0.248	2.345**
inc3	0.0420	0.039	0.347*

Number of observations=2,357, $L(0)=-3267.5$, $L(c)=-3199.5$, $L(\beta)=-2668.2$, $\rho^2=0.183$, $\bar{\rho}^2=0.182$

note: ***p-value < 0.01, **p-value < 0.05, *p-value < 0.15,

Table 7. Multinomial logit for mid-size & full-size

Variable	Coefficient	Standardized Coefficient	T-value
ASCe	Gasoline	-	-3.233***
	HEV	-	-1.601*
	EV	-	-11.022***
price	-0.0006	-2.027	-20.243***
fuel	-0.0001	-0.197	-1.520*
distance	0.0015	0.331	2.084**
station	0.0219	1.452	12.180***
age	-0.4764	-0.410	-3.148***
infor	0.2660	0.269	2.575**
inc3	0.2626	0.263	2.325**

Number of observations=2,190, $L(0)=-3036.0$, $L(c)=-2995.6$, $L(\beta)=-2713.3$, $\rho^2=0.106$, $\bar{\rho}^2=0.105$

note: ***p-value < 0.01, **p-value < 0.05, *p-value < 0.15,

차급에 대한 시장분할의 유의미성 검토를 위한 우도비 검정은 Equation 2와 같으며, 시장분할의 유의미성 검토 결과는 Table 8과 같다. 검토 결과 모집단이 G 개의 시장으로 분할되었을 때, 모형간 모수의 벡터가 동일하다는 귀무가설($H_0 = \beta^1 = \beta^2 = \dots = \beta^G$)을 기각하여 차급을 구분한 차종선택모형은 유의미한 것으로 나타났다.

$$-2[L_N(\hat{\beta}) - \sum_{g=1}^G L_{N_g}(\hat{\beta}^g)] \tag{2}$$

여기서 $L_N(\hat{\beta})$: 전체 모형의 Log-likelihood function 값

$L_{N_g}(\hat{\beta}^g)$: 분할된 모형의 Log-likelihood function 값

자유도: $\sum_{g=1}^G K_g - K$ (K_g : 분할된 모형의 계수 수, K : 전체 모형의 계수 수)

Table 8. Result of likelihood ratio test

test statistic	degrees of freedom	$\chi^2_{(0.05)}$
61.052	10	18.307

2. 네스티드로짓모형

1) IIA 검정

본 연구에서 고려한 대안은 휘발유 사용유무, 전기 사용유무 등 다양한 유형으로 구분이 가능하기 때문에, 조사에 참여한 설문응답자가 각 대안을 독립적으로 고려하는지 또는 하나 이상의 대안을 동일하게 고려하는지를 검토해 볼 필요가 있다. 이에 본 연구에서는 다음과 같은 카이제곱 검정을 통하여 분석자료가 로짓모형의 IIA 속성에 적합한지를 검토하였다.

$$\chi^2 = - \frac{2[LL_S(\beta_U) - LL_S(\beta_S)]}{1 - \frac{N_S}{aN_U}} \quad (3)$$

여기서 자유도(d.f): 자료 s 를 이용한 모형의 계수 수

N_U : 자료 U 의 표본수

N_S : 자료 s 의 표본수

a : scalar($a > 1$ 의 값이지만, 일반적으로 $a = 1$ 을 적용)

$LL_S(\beta_U)$: 자료 U 로 추정된 모형의 자료 s 에 대한 우도함수 값,

$LL_S(\beta_S)$: 자료 s 로 추정된 모형의 우도함수 값

검토 결과는 Table 9와 같으며, 경·소형을 선택한 설문응답자는 각 대안을 독립적으로 인지하는 반면, 중·대형을 선택한 설문응답자는 대안간 상관성을 인지하는 것으로 나타나 중·대형의 차종선택모형은 로짓모형의 IIA 속성을 완화시키는 네스티드로짓모형으로 추정하는 것이 타당한 것으로 판단된다.

Table 9. Result of chi-square test

Size	χ^2	d.f	$\chi^2_{(9, 0.05)}$	result
sub-compact & compact	14.294	9	16.919	accept
mid-size & full-size	20.370	9	16.919	reject

2) 모형 추정

네스티드로짓모형의 위계구조는 다양하게 고려될 수 있으나, 본 연구에서는 Figure 1과 같이 휘발유 사용유무, 단일연료 사용유무, 친환경차 분류유무 등에 따라 총 5가지 구조를 검토하였다. 네스티드로짓모형을 이용하여 위계구조별 중·대형 차급에 대한 차종선택모형을 추정한 결과 모형의 설명력은 대안간 상관성이 반영되어 기존 다항로짓모형 대비 다소 증가한 것으로 나타났으며, 계소의 부호 및 크기, 설명의 논리성 등은 기존 모형과 크게 다르지 않은 것으로 나타났다.

네스티드로짓모형의 위계구조에 대한 유효성은 포괄값(inclusive value)에 따라 판단이 가능하며, 포괄값이 통계적으로 0과 1사이 에 있을 경우 해당 위계구조는 유효하다고 판단할 수 있다. 본 연구에서는 중·대형 차급의 설명력을 높일 수 있는 위계구조를 찾기 위하여 Table 10과 같이 모형의 설명력과 포괄값을 모두 검토하였다. 검토 결과 Tree5가 가장 적합한 것으로 나타났으며, Tree5에 대한 네스티드로짓모형 추정 결과는 Table 11과 같다. 앞서 추정된 다항로짓모형과 동일하게 사회경제변수 중 age는 가솔린차의 효용에, infor는 PHEV와 EV의 효용에, inc3은 EV의 효용에 영향을 미치는 것으로 나타났다.

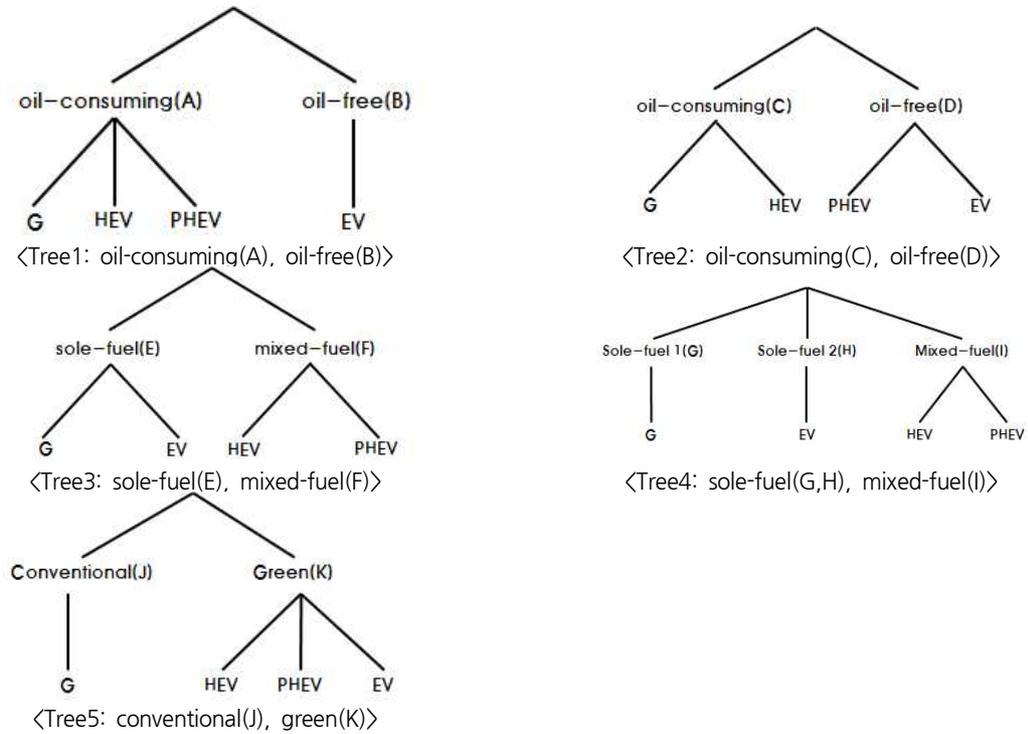


Figure 1. Tree structures of nested logit

Table 10. Explanation by tree structures

Type	Tree1	Tree2	Tree3	Tree4	Tree5
ρ^2	0.149	0.105	0.109	0.128	0.191
inclusive value	0.701	0.822	0.591	0.479	0.976
	0.583	0.902	0.839	0.694	0.809
	-	-	-	0.519	-

Table 11. Nested logit for mid-size & full-size

Variable	Coefficient	Standardized Coefficient	T-value
ASCe			
Gasoline	-0.9915	-	-1.871
HEV	-0.1708	-	-1.446
EV	-2.0193	-	-10.585
price	-0.0006	-2.029	-18.019***
fuel	-0.0001	-0.187	-1.186
distance	0.0016	0.362	2.232**
station	0.0221	1.463	11.762***
age	-0.5885	-0.507	-2.691***
infor	0.2774	0.280	2.608***
inc3	0.2753	0.276	2.389**

Number of observations=2,190, $L(0)=-3358.2$, $L(c)=-2995.6$, $L(\beta)=-2712.1$, $\rho^2=0.192$, $\bar{\rho}^2=0.191$

note: ***p-value < 0.01, **p-value < 0.05, *p-value < 0.15,

3. 차종선택형태 분석

차급별 모형에 포함된 변수를 살펴보면, 대안특성상수의 경우 경·소형에서는 가솔린차와 EV에서는 음(-)의 부호가, HEV에서는 양(+)의 부호가 추정되었으며, 중·대형에서는 모두 음(-)의 부호가 추정되었다. 이를 통하여 현재 효용함수 내에 포함된 설명변수에 의하여 설명되지 않는 부분의 효용이 경·소형에서는 PHEV보다 HEV가 높은 반면 가솔린차와 EV는 낮고, 중·대형에서는 모두 PHEV보다 낮은 어떤 요인이 작용하고 있음을

알 수 있다. 대안특성상수에 대해서는 부호의 방향을 상식적인 선에서 판단하기 어렵기 때문에 추정된 계수의 현상에 대해서만 통계적 해석이 가능하다.

대안일반변수와 대안특성변수의 경우 경·소형에서는 price, fuel, distance, station 변수가, 중·대형에서는 price, distance, station 변수가 통계적으로 유의하게 나타났다. 중·대형의 경우 일반적으로 타 차급을 선택하는 구매자에 비하여 경제적 여유가 있으며, 차종 선택 시 경·소형 구매자 보다는 차량 가격 등에 비하여 연료비는 고려하지 않는 경향이 강하기 때문에 fuel 변수가 모형에서 유의하지 않게 도출된 것으로 판단된다. 특히, 차량 구매 시 price 변수와 fuel 변수의 영향력은 모두 경·소형보다는 중·대형이 낮게 나타나는 결과가 이러한 경향을 뒷받침한다.

사회경제변수의 경우 경·소형에서는 age, infor 변수가, 중·대형에서는 age, infor, inc3 변수가 통계적으로 유의한 것으로 나타났다. age 변수의 경우 50대 이상의 고령층에서는 차종 선택시 타 연령대에 비하여 친환경차를 선택하고자 하는 경향이 강한 것으로 나타났다. infor 변수는 친환경차 관련 정보의 인지 유무를 의미하며 관련 정보를 사전에 알고 있는 구매자일수록 PHEV 또는 EV 구매에 긍정적인 영향을 미칠 것으로 예상된다. 한편, 고소득층일수록 차량가격이 상대적으로 비싼 중·대형 EV 구매에 관심이 높은 것으로 나타났다.

마지막으로 동일한 차급 내에서 모형의 설명변수가 차종 선택에 미치는 영향력은 표준화계수를 통하여 판단 가능하다. 가솔린차, HEV, PHEV, EV 모두 모든 차급에서 차종 선택 시 price 변수의 영향력이 가장 큰 것으로 나타났으며, EV의 경우 distance 변수 보다는 station 변수의 영향력이 큰 것으로 나타나 EV 구매자는 1회 충전시 주행거리와 같은 차종의 성능보다는 공공인프라 충전시설 등의 인프라에 보다 관심이 많은 것을 알 수 있다.

한편 IIA 검정 결과, 경·소형 차급의 차량구매자는 본 연구에서 고려한 선택대안을 독립적인 관계로 인식하는 반면, 중·대형 차량구매자는 하나 이상의 대안을 동일한 대안으로 인식하는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 경·소형 차급의 경우 내연차량의 차량가격, 연비 등이 구매보조금을 받는 친환경차의 차량가격, 연비 등과 큰 차이가 없는 반면, 중·대형 차급은 차량가격, 연비 등에서 내연차량과 친환경차의 차이가 존재하기 때문으로 판단된다.

결론 및 정책적 시사점

국내와 같이 친환경차 보급이 초기단계인 경우 친환경차 보급의 성과는 정부의 노력과 의지에 큰 영향을 받는다. 국내에서는 2015년부터 친환경차 보급 확대를 위한 각종 보조금 지원 정책을 추진하고 있는바, 성공적인 친환경차 보급 확대를 위해서는 해당 정책을 개선하고 지속적으로 추진하는 것이 매우 중요하다. 본 연구의 결과를 바탕으로 친환경차 보급 정책의 효과를 제고하기 위해서는 친환경차에 대한 적극적인 홍보와 구매자의 사회경제적 특성에 대응하기 위한 노력이 필요하다.

차종선택행태를 분석한 결과, 차종선택에 가장 큰 영향을 미치는 요인이 차량가격이므로 친환경차 확산을 위하여 정부에서는 기존 구매보조금 외 공영주차장 이용료, 고속도로 통행료, 충전시설 이용료 등과 같은 운행 중 인센티브 제공을 추가로 검토해 볼 필요가 있다. 또한 국내는 단독주택보다는 아파트의 비중이 크며, 아파트에 거주하는 경우(연립주택, 오피스텔 등 포함) 아직까지 PHEV 또는 EV 충전이 용이하지 않은 실정이다. 따라서 차량가격 다음으로 차량구매에 미치는 영향이 큰 EV의 충전인프라 확보를 위해서는 공공급속충전시설의 확충과 함께 거주지에서의 충전이 원활하도록 관련 제도의 개선이 필요하다.

사회경제변수의 경우 50대 이상 고령층일수록 친환경차 구매에 대한 관심이 높은 것으로 나타나 자동차 제작사에서는 친환경차 제작 및 판매시 고령층을 위한 맞춤형 마케팅 전략을 수립하여 정부의 친환경차 확산 정책에 능동적으로 동참해야 할 필요가 있다. 또한 친환경차 구매자는 친환경차 관련 정보를 사전에 인지하고 있을수록 친환경차 구매에 긍정적인 반응을 보이는 것으로 나타났기 때문에, 아직까지 특정 구매층을 제외하고는

사회적 관심이 낮은 친환경차에 대해서는 관련 정책 뿐 아니라 차량속성, 충전방식 등에 대한 최신 정보를 제공할 수 있는 방안이 마련되어야 한다.

마지막으로 본 연구의 모형추정 결과는 본 연구에서 수행한 SP 조사 자료에 매우 의존적이기 때문에, 분석 결과에 대한 신뢰도를 높이기 위해서는 내연차량 대안 확대(디젤차, 가스차 등 포함), 조사지역, 대상 등을 세분화하여 관련 자료를 수집하는 한편, 차종선택모형에 대한 지속적인 개선 및 다양한 표본을 확보할 수 있는 방안이 마련되어야 한다. 또한 본 연구의 모형에서 추정된 변수들의 장래 추정치를 확보하여 차급별 차종선택 모형에 대한 검증 및 장래 여건변화에 따른 시장점유율 예측에 활용하고자 하는 노력이 필요하다.

ACKNOWLEDGEMENT

This work was funded by the Korea Environment Institute project (GP2015-01-02-02).

알림: 본 논문은 2015년 한국환경정책·평가연구원 기후환경정책연구 중 "친환경차 보조금 지원 정책의 온실가스 감축 효과 연구" 보고서의 내용을 수정·보완하여 작성된 것입니다.

REFERENCES

- Achtnicht M., Bühler G., Hermeling C. (2012), The Impact of Fuel Availability on Demand for Alternative-fuel Vehicles, *Transportation Research Part D*, 17(3), 262-269.
- Brownstone D., Bunch D. S., Golob T. F., Ren W. (1996), A Transactions Choice Model for Forecasting Demand for Alternative-fuel Vehicles, *Research in Transportation Economics* 4, 87-129.
- Brownstone D., Bunch D., Train K. (2000), Joint Mixed Logit Models of Stated and Revealed Preferences for Alternative-fuel Vehicles, *Transportation Research Part B*, 34(5), 315-338.
- Bunch D. S., Bradley M., Golob T. F., Kitamura R., Occhiuzzo G. P. (1993), Demand for Clean-fuel Vehicles in California: A Discrete-choice Stated Preference Pilot Project, *Transportation Research Part A*, 27(3), 237-253.
- Calfée J. E. (1985), Estimating the Demand for Electric Automobiles Using Fully Disaggregated Probabilistic Choice Analysis, *Transportation Research Part B*, 19B(4), 287-301.
- Choo S., Mokhtarian P. L. (2004), What Type of Vehicle Do People Drive? The Role of Attitude and Lifestyle in Influencing Vehicle Type Choice, *Transportation Research Part A*, 38(3), 201-222.
- Ewing G. O., Sarigöllü E. (1998), Car Fuel-type Choice under Travel Demand Management and Economic Incentives, *Transportation Research Part D*, 3(6), 429-444.
- Greenhouse Gas Inventory & Research Center of Korea (2014), National Greenhouse Gas Inventory Report of Korea 2013.
- Gwon O. S., Kim Y. G., Jung J. H. (2012), Analysis on the Impacts of a Bonus-malus System for New Car in Korea Using Discrete-continuous Choice Model, *Environmental and Resource Economics Review* 21(2), 237-269.
- Hackbarth A., Madlener R. (2013), Consumer Preferences for Alternative Fuel Vehicles: A Discrete Choice Analysis, *Transportation Research Part D* 25, 5-17.
- Hess S., Fowler M., Adler T., Bahreinian A. (2012) A Joint Model for Vehicle Type and Fuel Type Choice: Evidence From a Cross-nested Logit Study, *Transportation*, 39(3), 593-625.

- Horne M., Jaccard M., Tiedemann K. (2005) Improving Behavioral Realism in Hybrid Energy-economy Models Using Discrete Choice Studies of Personal Transportation Decisions, *Energy Economics* 27, 59-77.
- Park S. J., Kim H. G., Ju J. H. (2012), A Study of Long-Term Car Ownership in Korea, The Korea Transport Institute.
- Park S. J., Kim S. S. (2007a), Estimation of a joint Model on Households' Car Ownership and Vehicle Type Choices and the Vehicle use and Policy Implications of Fuel Prices, The 55th Conference of KST, Korean Society of Transportation, 41-50.
- Park S. J., Kim S. S. (2007b), A Nested Logit Model of Auto Ownership and Vehicle Type Choices, *J. Korean Soc. Transp.*, 25(1), Korean Society of Transportation, 133-141.
- Potoglou D., Kanaroglou P. S. (2007), Household Demand and Willingness to Pay for Clean Vehicles, *Transportation Research Part D*, 12(4), 264-274.
- Qian L., Soopramanien D. (2011), Heterogeneous Consumer Preferences for Alternative Fuel Cars in China, *Transportation Research Part D*, 16(8): 607-613.
- Tanaka M., Takanori I., Murakami K., Friedman L. (2014), Consumer's Willingness to Pay for Alternative Fuel Vehicles: A Comparative Discrete Choice Analysis Between the US and Japan, *Transportation Research Part A* 70, 194-209.
- Tompkins M., Bunch D., Santini D., Bradley M. (1998), Determinants of Alternative Fuel Vehicle Choice in the Continental United States, *Transportation Research Record* 1641, 130-138.